

**PERANGKAT LUNAK SISTEM PENGUKURAN KARAKTERISTIK BAHAN – BAHAN
AKUSTIK MENGGUNAKAN TABUNG IMPEDANSI SISTEM EMPAT MIKROFON
DENGAN MATRIKS PINDAH (TIS4M)**

oleh

Joe, Bobby Soegiarto

NIM: 612011006



Skripsi

Untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh

Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer

Universitas Kristen Satya Wacana

Salatiga

Januari 2016



PERNYATAAN PERSETUJUAN AKSES

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : JOE BOBY SOEGIARTO
NIM : 612011006 Email : BOBY SOEGIARTO@gmail.com
Fakultas : TEKNIK ELEKTRONIKA DAN KOMPUTER Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Judul tugas akhir : PERANGKAT LUNAK SISTEM PENGUKURAN KARAKTERISTIK BAHAN - BAHAN AKUSTIK MENGGUNAKAN TABUNG IMPEDANSI SISTEM EMPAT MIKROFON DENGAN MATRIKS PINDAH (TIS 9M)

Dengan ini saya menyerahkan hak *non-eksklusif** kepada Perpustakaan Universitas – Universitas Kristen Satya Wacana untuk menyimpan, mengatur akses serta melakukan pengelolaan terhadap karya saya ini dengan mengacu pada ketentuan akses tugas akhir elektronik sebagai berikut (beri tanda pada kotak yang sesuai):

- ☒ a. Saya mengizinkan karya tersebut diunggah ke dalam aplikasi Repositori Perpustakaan Universitas, dan/atau portal GARUDA
- ☐ b. Saya tidak mengizinkan karya tersebut diunggah ke dalam aplikasi Repositori Perpustakaan Universitas, dan/atau portal GARUDA**

* Hak yang tidak terbatasnya bagi satu pihak saja. Pengajar, peneliti, dan mahasiswa yang menyerahkan hak non-eksklusif kepada Repositori Perpustakaan Universitas saat mengumpulkan hasil karya mereka masih memiliki hak copyright atas karya tersebut.

** Hanya akan menampilkan halaman judul dan abstrak. Pilihan ini harus dilampiri dengan penjelasan/ alasan tertulis dari pembimbing I dan diketahui oleh pimpinan fakultas (dekan/kaprodi).

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Salatiga, 3 Februari 2016.

JOE BOBY SOEGIARTO
Tanda tangan & nama terang mahasiswa

Mengetahui,

Matriy H. A. Bulhantho
Tanda tangan & nama terang pembimbing I

Gunawan D.
Tanda tangan & nama terang pembimbing II



PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : JOE, BOBY SOEGIARTO
NIM : 612011006 Email : BOBYSOEGIARTO@gmail.com
Fakultas : TEKNIK ELEKTRONIKA DAN KOMPUTER Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Judul tugas akhir : PERANGKAT LUNAK SISTEM PENGUKURAN KARAKTERISTIK
BAHAN - BAHAN AKUSTIK MENGGUNAKAN TABUNG IMPEDANSI
SISTEM EMPAT MIKROFON DENGAN Matriks Pindah (TIS4M)
Pembimbing : 1. Dr. MATIAS H. W. BUDHIANTHO
2. BUNAWAN DEWANTORO M.Sc. Eng.

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya yang saya serahkan ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan baik di Universitas Kristen Satya Wacana maupun di institusi pendidikan lainnya.
2. Hasil karya saya ini bukan saduran/terjemahan melainkan merupakan gagasan, rumusan, dan hasil pelaksanaan penelitian/implementasi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan pembimbing akademik dan narasumber penelitian.
3. Hasil karya saya ini merupakan hasil revisi terakhir setelah diujikan yang telah diketahui dan disetujui oleh pembimbing.
4. Dalam karya saya ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali yang digunakan sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari terbukti ada penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya saya ini, serta sanksi lain yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Kristen Satya Wacana.

Salatiga, 3 Februari 2016



Tanda
JOE, BOBY SOEGIARTO

**PERANGKAT LUNAK SISTEM PENGUKURAN
KARAKTERISTIK BAHAN–BAHAN AKUSTIK MENGGUNAKAN
TABUNG IMPEDANSI SISTEM EMPAT MIKROFON DENGAN
MATRIKS PINDAH (TIS4M)**


Oleh
Joe, Boby Soegiarto
NIM : 612011006

Skripsi ini telah diterima dan disahkan
Untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh

Gelar Sarjana Teknik
dalam
Konsentrasi Teknik Telekomunikasi
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer
Universitas Kristen Satya Wacana
Salatiga

Disahkan Oleh
1956

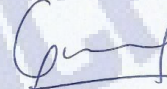
Pembimbing I



Dr. Matias H. W. Budhiantho

Tgl. 3 - Feb - 2016

Pembimbing II



Gunawan Dewantoro M.Sc.Eng

Tgl. 3 / 2 / 2016

PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA: Joe, Bobby Soegiarto

NIM: 612011006

JUDUL SKRIPSI: PERANGKAT LUNAK SISTEM PENGUKURAN
KARAKTERISTIK BAHAN – BAHAN AKUSTIK
MENGUNAKAN TABUNG IMPEDANSI SISTEM
EMPAT MIKROFON DENGAN MATRIKS PINDAH (TIS4M)

Menyatakan bahwa skripsi tersebut di atas bebas plagiat. Apabila ternyata ditemukan unsur plagiat di dalam skripsi saya, maka saya bersedia mendapatkan sanksi apa pun sesuai aturan yang berlaku.

Salatiga, Februari 2016



Joe, Bobby Soegiarto

1956

Perangkat Lunak Sistem Pengukuran Karakteristik Bahan – Bahan Akustik Menggunakan Tabung Impedansi Sistem Empat Mikrofon Dengan Matriks Pindah (TIS4M)

Joe, Bobby Soegiarto
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro
Universitas Kristen Satya Wacana
Salatiga
Oktober 2015

Pembimbing :
Dr. Mathias H. W. Budhianto
Gunawan Dewantoro M.Sc.Eng

INTISARI

Perangkat lunak pengukuran karakteristik bahan akustik, ekualisasi derau putih, simulasi bahan gabungan, dan simulasi koefisien serapan dengan berbagai ketebalan dan sudut datang bunyi. Koefisien serapan yang dihasilkan TIS4M memiliki selisih 0,1 pada frekuensi dibawah 400Hz pada pengukuran tabung besar dan selisih 0,1 pada frekuensi di bawah 2000Hz pada pengukuran di tabung kecil bila dibandingkan dengan hasil dari B&K tipe 4206. Perangkat lunak ekualisasi derau putih meratakan spektrum derau putih di dalam tabung impedans menjadi lebih rata dari $\pm 30dB$ menjadi $\pm 20dB$. Simulasi bahan gabungan menghasilkan karakteristik akustik yang sama dengan hasil pengukuran dengan selisih pada koefisien serap sekitar 0,1 dan rerugi transmisi sekitar 1dB pada frekuensi 500 - 8000 Hz. Simulasi koefisien serapan dengan berbagai ketebalan dan sudut datang juga memiliki hasil yang sama dengan pengukuran TIS4M jika dilakukan pada tabung besar, pada tabung kecil akan terjadi galat pada hasil simulasi karena adanya galat pada bilangan gelombang propagasi dan impedans karakteristik. Pada pengukuran tabung kecil data yang dihasilkan terjadi galat terutama pada bilangan gelombang propagasi dan karakteristik impedansi jika bahan yang diukur memiliki ketebalan yang melebihi diameter tabung.

ABSTRACT

Software measuring acoustic characteristics of materials, equalization white noise, simulator of composite material, and simulator of absorption coefficient with various thickness and angle of incidence sound. The resulting absorption coefficient TIS4M has a difference of 0.1 at frequencies below 400Hz on the measurement of a large tube and the difference of 0.1 at frequencies below 2000Hz on measurements in small tubes when compared with the results of the B&K type 4206. Software equalization white noise make spectrum white noise in the impedance tube becomes flatter than $\pm 30\text{dB}$ to $\pm 20\text{dB}$. Simulation of composite materials produce the same acoustic characteristics with measurement results with the difference in absorption coefficient of about 0.1 and transmission loss around 1dB at a frequency of 500-8000 Hz. Simulation absorption coefficient with various thickness and angle of incidence also had similar results with measurements TIS4M if done on a large tube, in a small tube will be an error in the simulation results due to an error in the propagation wave number and impedance characteristics. In the small tube measurement data generated error occurs mainly in propagation wave number and characteristics of the measured impedance if the material has a thickness that exceeds the diameter of the tube.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang selalu menyertai penulis selama menempuh pendidikan dari awal hingga penyelesaian tugas akhir sebagai syarat kelulusan di Fakultas Teknik Elektronika dan Komputer Universitas Kristen Satya Wacana.

Pada kesempatan ini penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang baik secara langsung maupun tidak langsung telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini:

1. Tuhan Yesus yang selalu memberkati, menyertai, dan memberikan segala yang terbaik bagi penulis selama menempuh pendidikan S1 di FTEK UKSW hingga selesai.
2. Ayah, Ibu, & Kakak tercinta sebagai keluarga yang telah selalu mendidik, mendukung, dan mendoakan penulis.
3. Bapak Dr. Mathias H. W. Budhiantho & Gunawan Dewantoro, M.Sc.Eng sebagai pembimbing I dan pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan saran serta masukan kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
4. Partner saya dalam mengerjakan skripsi ini Leonardus Teguh Santoso.
5. Keluarga besar AME yang selalu memberikan semangat dan mendukung dalam melakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Seluruh staff dosen, karyawan dan laboran FTEK yang memfasilitasi penulis selama menempuh pendidikan S1 di FTEK UKSW.
7. Keluarga besar 2011 yang telah berjuang bersama sejak masuk FTEK UKSW.
8. Teman-teman kos Seruni 4 yang telah memberikan banyak hiburan & semangat untuk menyelesaikan pendidikan S1 di FTEK UKSW.
9. Berbagai pihak yang tidak dapat dituliskan satu persatu, penulis mengucapkan terima kasih.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata “sempurna”, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca sehingga tugas akhir ini dapat berguna bagi kemajuan pendidikan FTEK UKSW dan AME.

Salatiga, Januari 2016

Joe, Bobby Soegiarto



DAFTAR ISI

INTISARI	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
Latar Belakang Masalah & Tujuan	1
Sistematika Penulisan	3
BAB II. DASAR TEORI SISTEM PENGUKURAN KARAKTERISTIK BAHAN AKUSTIK MENGGUNAKAN TABUNG IMPEDANS DAN EMPAT MIKROFON	5
2.1 Gelombang Bunyi di Dalam Tabung Impedans	5
2.2 Unsur – Unsur Matriks Pindah Bahan T_{11} , T_{12} , T_{21} , T_{22}	9
2.3 Metode 2 Beban	12
2.4 Metode 1 Beban	14
2.5 Koefisien Serapan (α)	16
2.6 Rugi Transmisi Bunyi (TL)	19
2.7 Bilangan Gelombang Propagasi dan Impedans Karakteristik	21
2.8 Matlab	23

BAB III. PERANCANGAN & SIMULASI PERANGKAT LUNAK TIS4M	25
3.1 Perancangan Sinyal Acak Derau Putih.....	27
3.2 Perancangan Perangkat Lunak Ekualisasi Sinyal Acak Derau Putih	29
3.4. Perancangan Perangkat Lunak Sistem Pengukuran	33
3.5. Kalibrasi Mikrofon dan Penguat Mikrofon	38
3.6. Perancangan Simulasi Bahan Gabungan	39
3.7. Perancangan Simulasi Koefisien Serapan dengan Ketebalan dan Sudut Datang Bunyi yang Berbeda.....	41
 BAB IV. PENGUJIAN PERANGKAT LUNAK TIS4M	 43
4.1 Pengujian Ekualisasi Sinyal Acak Derau Putih	43
4.2. Pengujian Perangkat Lunak Sistem Pengukuran	46
4.3. Pengujian Simulator Koefisien Serapan dengan Ketebalan dan Sudut Datang Bunyi yang bervariasi.....	49
4.4. Pengujian Simulator Bahan Gabungan	55
 BAB V. PENGUJIAN DAN ANALISIS PERANGKAT GABUNGAN TIS4M	 60
5.1. Ekualisasi Derau Putih di Dalam Tabung Impedansi	60
5.2. Kalibrasi Perangkat Pengukur TIS4M	62
5.3. Pengukuran Bahan Glasswool dan Rockwool	63
5.3.1 Hasil Pengukuran Koefisien Serapan.....	63
5.3.1.a. Analisis Perbandingan Hasil Pengukuran Koefisien Serapan Bunyi dari TIS4M, Sistem 2 Mikrofon, dan Reverberation Room (Data Pabrik).....	64

5.3.1.b. Analisis Perbandingan Hasil Pengukuran Koefisien Serapan Bunyi Berdasarkan Ketebalan Bahan Uji	70
5.3.1.c. Analisis Perbandingan Hasil Pengukuran Koefisien Serapan Bunyi Berdasarkan Kepadatan Bahan Uji	71
5.2.1.d. Analisis Perbandingan Hasil Pengukuran Koefisien Serapan Bunyi milik TIS4M dan B&K 4206	72
5.3.2 Analisis Rerugi Transmisi	74
5.3.3 Analisis Impedans Karakteristik	77
5.3.4 Analisis Bilangan Gelombang Propagasi	84
BAB VI. PENUTUP	87
6.1 Kesimpulan	87
6.2 Saran Pengembangan.....	89
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tabung impedansi dengan empat mikrofon	6
Gambar 2.2. Gelombang Bunyi yang Terjadi di Dalam Bahan Uji.....	9
Gambar 2.3. Perbandingan Koefisien Serapan dengan Pengukuran Tabung Impedansi (atas) dan <i>Reverberation Room</i> (bawah).....	18
Gambar 3.1. Sinyal Acak Derau Putih hasil dari MATLAB.....	28
Gambar 3.2. Kerapatan Spektrum Daya dari Sinyal Acak Derau Putih.	29
Gambar 3.3. Blok Diagram Sistem yang dilewati Sinyal Acak Derau Putih sampai menjadi bunyi.....	30
Gambar 3.4. Gaftar Alir Ekualisasi Sinyal Acak Derau Putih.	32
Gambar 3.5. Sistem Pengukuran Karakteristik Bahan Akustik dengan Metode 4 Mikrofon.[7]	34
Gambar 3.6. Gaftar Alir Perangkat Lunak Sistem Pengukuran.	37
Gambar 3.7. Metode Kalibrasi Mikrofon dengan Penetrasi di Sepanjang Tabung[7]	39
Gambar 3.8. Gaftar Alir Perangkat Lunak Simulasi Bahan Uji Gabungan.....	41
Gambar 3.9. Gaftar Alir Perangkat Lunak Simulasi Koefisien Serapan Bahan dengan Ketebalan dan Sudut Datang bunyi baru.....	42
Gambar 4.1. Perbandingan Magnitudo Tanggapan Frekuensi Akustik Sinyal Acak Derau Putih Sebelum (atas) dan Sesudah(bawah) Ekualisasi.....	44
Gambar 4.2. Logaritma Magnitudo Tanggapan Frekuensi Hasil Pengukuran Akustik Sinyal Acak Derau Putih terhadap Data Ekualisasi.(Biru :Logaritma Magnitudo Tanggapan Frekuensi Hasil Pengukuran. Merah:Data Ekualisasi)	45
Gambar 4.3. Gelombang Bunyi dala Tabung Impedansi[7]	46

Gambar 4.4. Koefisien Pantul Hasil Uji Perangkat Lunak dengan Sinyal Buatan.	48
Gambar 4.5. Koefisien Transmisi Hasil Uji Perangkat Lunak dengan Sinyal Uji Buatan.	49
Gambar 4.6. Perbandingan Koefisien Serapan Glasswool AB4825 Hasil dengan ketebalan 2,5 cm di frekuensi 100-1600 Hz Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi dengan ketebalan yang sama.	50
Gambar 4.7. Perbandingan Koefisien Serapan Glasswool AB4825 Hasil dengan ketebalan 2,5 cm di frekuensi 100-1600 Hz Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi dengan ketebalan menjadi 1 cm	50
Gambar 4.8. Perbedaan Nilai Koefisien Serapan Akustik berdasarkan perbedaan ketebalan bahan.	51
Gambar 4.9. Perbandingan Koefisien Serapan Glasswool AB4825 Hasil dengan ketebalan 2,5 cm di frekuensi 100-1600 Hz Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi pada Sudut Datang Bunyi 90 derajat	52
Gambar 4.11. Perbandingan Koefisien Serapan Glasswool AB4825 Hasil dengan ketebalan 2,5 cm di frekuensi 500-8000 Hz Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi dengan ketebalan yang sama.	53
Gambar 4.12. Bilangan Gelombang Propagasi bagian Imajiner Glasswool AB4825.	54
Gambar 4.13. Perbandingan Koefisien Serapan Glasswool AB4825 Hasil dengan ketebalan 2,5 cm di frekuensi 500-8000 Hz Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi dengan ketebalan menjadi 5cm (Kiri) dan 1 cm (Kanan).	54
Gambar 4.14. Perbandingan Koefisien Serapan Glasswool AB 4825 Hasil dengan ketebalan 2,5 cm di frekuensi 500-8000 Hz Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi pada Sudut Datang Bunyi 90 derajat.	55
Gambar 4.15. Perbandingan Koefisien Serapan Glasswool AB4850 Hasil dengan ketebalan 5 cm (Kiri) di frekuensi 500-8000 Hz Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi Glasswool AB4825 yang disimulasi menjadi tebal 5cm (Kanan).	55
Gambar 4.16. Perbandingan Karakteristik Akustik Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran Tabung Besar (100 – 1600 Hz) Bahan Gabungan AB 4825 dan AB 4850. Koefisien Serapan,	

Rerugi Transmisi ,Bilangan Gelombang Propagasi bagian Nyata, Bilangan Gelombang Propagasi Bagian Imajiner, Impedans Karakteristik Bagian Nyata, Impedans Karakteristik Bagian Imajiner	57
Gambar 4.17.Perbandingan Karakteristik Akustik Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran Tabung Kecil(500 – 8000Hz) Bahan Gabungan AB 4825 dan AB 4850.Koefisien Serapan, Rerugi Transmisi,Bilangan Gelombang Propagasi bagian Nyata, Bilangan Gelombang Propagasi Bagian Imajiner, Impedans Karakteristik Bagian Nyata, Impedans Karakteristik Bagian Imajiner.....	59
Gambar 5.1. Magnitudo Spektrum Derau Putih di Dalam Tabung Impedansi sebelum diekualisasi (Kiri : Tabung Besar ; Kanan : Tabung Kecil).....	61
Gambar 5.2. Magnitudo Spektrum Derau Putih di Dalam Tabung Impedansi sesudah diekualisasi (Kiri : Tabung Besar ; Kanan : Tabung Kecil)	62
Gambar 5.3. Koefisien Serapan dengan Bahan Uji Plat Besi.(Kiri : 100 – 1600Hz ; Kanan : 500 - 8000 Hz).....	63
Gambar 5.4. Perbandingan Koefisien Serapan Tabung Besar(100 -1600 Hz) (a) Rockwool ABR850 ; (b) Glaswool AB4850 ; (c) Glaswool AB4825 ; (d) Glaswool AB3250 (Kiri : Metode empat mikrofon Kanan : Metode dua mikrofon).....	66
Gambar 5.5. Perbandingan Koefisien Serapan Tabung Kecil(500 -8000 Hz) (a) Rockwool ABR850 ; (b) Glaswool AB4850 ; (c) Glaswool AB4825 ; (d) Glaswool AB3250 (Kiri : Metode empat mikrofon Kanan : Metode dua mikrofon).....	67
Gambar 5.6. Pengaruh ketebalan bahan terhadap koefisien serap bunyi [16].....	70
Gambar 5.7. Perbandingan nilai koefisien serap bunyi berdasarkan ketebalan bahan.....	71
Gambar 5.8. Perbandingan nilai koefisien serap bunyi berdasarkan kepadatan bahan.....	72
Gambar 5.9. Perbandingan koefisien serap terhadap kepadatan bahan.	72
Gambar 5.10. Perbandingan Koefisien Serapan Hasil Pengukuran antara Metode 4 Mikrofon dengan Tabung Impedans Buatan B&K pada frekuensi 100 – 1600Hz (Kiri) dan 500 – 8000Hz (Kanan).....	73

Gambar 5.11. Perbandingan Rerugi Transmisi Bunyi Hasil Perhitungan dan Hasil Pengukuran dengan Metode Empat Mikrofon Bahan Glasswool AB4850 (Kiri) dan AB 3250(Kanan) pada frekuensi 100-1600Hz.	74
Gambar 5.12. Perbandingan Rerugi Transmisi Bunyi Bahan Glasswool AB4825 dan AB4850 pada Tabung Besar(100 - 1600Hz).	75
Gambar 5.13. Perbandingan Rerugi Transmisi Bunyi Hasil Perhitungan dan Hasil Pengukuran dengan Metode Empat Mikrofon Bahan Glasswool AB4850 pada frekuensi 100-1600Hz.....	75
Gambar 5.14. Bilangan Gelombang Propagasi Bahan Glasswool AB 4850 pada Tabung Kecil Bagian Nyata dan Bagian Imajiner.	76
Gambar 5.15. Perbandingan Nilai Rerugi Transmisi Glaswool AB 3250 Hasil Pengukuran Metode 4 Mikrofon dan Tabung Impedans Buatan B&K pada frekuensi 100-1600Hz.....	77
Gambar 5.16. Impedans Karakteristik Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB 4850 pada frekuensi 100 – 1600Hz.	78
Gambar 5.17. Impedans Karakteristik Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB 3250 pada frekuensi 100 – 1600Hz.	79
Gambar 5.18. Impedans Karakteristik Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB3250 pada frekuensi 500 – 8000Hz.	79
Gambar 5.19. Impedans Karakteristik Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB4850 pada frekuensi 500 – 8000Hz.	80
Gambar 5.20. Impedans Karakteristik Ternormalisasi Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB3250 pada frekuensi 100 – 1600Hz.....	81
Gambar 5.21. Impedans Karakteristik Ternormalisasi Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB3250 pada frekuensi 100 – 1600Hz.....	82
Gambar 5.22. Impedans Karakteristik Ternormalisasi Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB3250 pada frekuensi 500 – 8000Hz.....	82

Gambar 5.23. Impedans Karakteristik Ternormalisasi Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB4850 pada frekuensi 500 – 8000Hz.....	83
Gambar 5.24. Impedans Karakteristik Ternormalisasi Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB4850 dengan tebal 1 cm pada frekuensi 500 – 8000Hz.....	84
Gambar 5.25. Bilangan Gelombang Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB 4850 dengan tebal 5 cm pada frekuensi 100 – 1600Hz.	84
Gambar 5.26. Bilangan Gelombang Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB 4850 dengan tebal 5 cm pada frekuensi 500 – 8000Hz.	85
Gambar 5.27. Hasil Pengukuran Bilangan Gelombang Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB 4850 dengan tebal 2 cm dan 2,5 cm pada frekuensi 500 – 8000Hz.....	86
Gambar 5.28. Bilangan Gelombang Bagian Nyata (Kiri) dan Bagian Imajiner (Kanan) Bahan Glasswool AB4850 dengan tebal 1,6 cm pada frekuensi 500 – 8000Hz.....	86
Gambar L.1.1. Susunan perangkat TIS4M (100-1600 Hz).....	92
Gambar L.1.2. Susunan perangkat TIS4M (500-8000 Hz).....	92
Gambar L.1.3. Kanal keluaran kartu bunyi.....	93
Gambar L.1.4. Bagian masukan penguat daya.....	93
Gambar L.1.5. Bagian keluaran penguat daya.....	93
Gambar L.1.6. Bagian masukan penyuar.....	94
Gambar L.1.7. Bagian kanal masukan penguat sinyal mikrofon.....	94
Gambar L.1.8. Bagian keluaran penguat sinyal mikrofon.....	94
Gambar L.1.9. Bagian kanal masukan kartu bunyi.....	95
Gambar L.1.10. Tampilan Awal saat Membuka GUI dari Perangkat Lunak TIS4M..	95

Gambar L.1.11. Tampilan Menu Utama dari Perangkat Lunak TIS4M.....	96
Gambar L.1.12. Peringatan ketika Menjalankan Program TIS4M.	96
Gambar L.1.13. Tampilan dari Perangkat Pengukuran Bahan Akustik.....	97
Gambar L.1.14. Tampilan perangkat lunak pengatur gain penguat daya.	97
Gambar L.1.15. Tampilan Magnitudo Derau Putih yang ditangkap Mikrofon	98
Gambar L.1.16. Pengatur gain dari penguat Daya.....	98
Gambar L.2.1. Bagian pilihan frekuensi sampling dan jumlah sampel FFT pada Program PENGUKURAN.....	99
Gambar L.2.2. Bagian Kalibrasi Mikrofon pada Program PENGUKURAN.....	100
Gambar L.2.3. Magnitudo (Kiri) dan Fase (Kanan) Fungsi Pindah kalibrasi Mikrofon.....	100
Gambar L.2.4. Gambar Tampilan Program Ekualisasi Derau Putih.....	101
Gambar L.2.5 Hasil Sinyal Acak Derau Putih keluaran dari Matlab di ranah waktu.....	102
Gambar L.2.6 Bagian Kalibrasi Mikrofon di Tabung Besar(Kiri) dan Tabung Kecil(Kanan) di program Ekualisasi Derau Putih.....	102
Gambar L.2.7 Bagian Sinyal Generator Derau Putih yang sudah diekualisasi	102
Gambar L.3.1. Susunan pengukuran suhu dan tekanan udara dalam tabung impedansi.....	103
Gambar L.3.2. Hasil pengukuran sensor DT-SENSE HP03 ke tabung impedansi.	103
Gambar L.3.3. Tampilan program menu suhu dan tekanan udara.....	104
Gambar L.3.4 Susunan Pengukuran Bahan Akustik pada Jangkauan Frekuensi 100-1600Hz. ...	104
Gambar L.3.5 Susunan Pengukuran Bahan Akustik pada Jangkauan Frekuensi 500-8000Hz. ...	105
Gambar L.3.6 Gambar Tombol Perekaman Data Pada Bagian Terminasi Anechoic(Kiri) dan Terminasi Memantul (Kanan)	106

Gambar L.4.1 Tampilan dari Perangkat Simulasi Bahan Gabungan.	107
Gambar L.4.2 Tampilan dari Perangkat Simulasi Koefisien Serapan dengan Sudut datang dan ketebalan yang berbeda.	108



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel Selisih Koefisien Serapan Bahan Hasil Pengukuran dengan Metode Tabung Impedansi dan Ruang kerdam.	18
Tabel 4.1. Variasi Amplitudo Gelombang Bunyi untuk menguji perangkat lunak.	47
Tabel 5.1. Tabel Selisih Koefisien Serapan Bahan Hasil Pengukuran dengan Metode Tabung Impedansi dan Ruang Kerdam(Data Pabrik) Bahan Uji Rockwool.	67
Tabel 5.2. Tabel Selisih Koefisien Serapan Bahan Hasil Pengukuran dengan Metode Tabung Impedansi dan Ruang Kerdam(Data Pabrik) Bahan Uji Glaswool AB3250.	68
Tabel 5.3. Tabel Selisih Koefisien Serapan Bahan Hasil Pengukuran dengan Metode Tabung Impedansi dan Ruang Kerdam(Data Pabrik) Bahan Uji Glaswool AB4825.	68
Tabel 5.4. Tabel Selisih Koefisien Serapan Bahan Hasil Pengukuran dengan Metode Tabung Impedansi dan Ruang Kerdam(Data Pabrik) Bahan Uji Glaswool AB4850.	69

DAFTAR SIMBOL

P_{kiri}	Tekanan bunyi di sebelah kiri bahan uji (Pascal)
P_{kanan}	Tekanan bunyi di sebelah kanan bahan uji (Pascal)
A	Amplitudo gelombang bunyi dari peyudara yang menuju bahan uji(Pascal)
B	Amplitudo gelombang bunyi yang dipantulkan bahan uji menuju penyudara (Pascal)
C	Amplitudo gelombang bunyi yang diteruskan bahan uji (Pascal)
D	Amplitudo gelombang bunyi yang dipantulkan terminasi menuju bahan uji (Pascal)
x_1	Jarak antara mikrofon 1 terhadap sumbu referensi (permukaan sebelah kiri bahan)
x_2	Jarak antara mikrofon 2 terhadap sumbu referensi (permukaan sebelah kiri bahan)
x_3	Jarak antara mikrofon 3 terhadap sumbu referensi (permukaan sebelah kiri bahan)
x_4	Jarak antara mikrofon 4 terhadap sumbu referensi (permukaan sebelah kiri bahan)
k	Bilangan gelombang bunyi di udara (1/meter)
ρ_o	Massa jenis udara ($\frac{kg}{m^3}$)
ε	Perpindahan partikel bunyi (meter)
V	Kecepatan partikel bunyi (m/s)
j	Bilangan imajiner
ω	Frekuensi sudut (rad/s)
c	Kecepatan bunyi di udara (m/s)
d	Ketebalan bahan uji(meter)
T_{11}	Unsur matriks pindah bahan
T_{12}	Unsur matriks pindah bahan

T_{21}	Unsur matriks pindah bahan
T_{22}	Unsur matriks pindah bahan
t	waktu (sekon)
$P_{bahankanan}$	Tekanan bunyi di dalam bahan yang menuju ke kanan (Pascal)
$P_{bahankiri}$	Tekanan bunyi di dalam bahan yang menuju ke kiri (Pascal)
$V_{bahankanan}$	Kecepatan partikel bunyi di dalam bahan yang menuju ke kanan (m/s)
$V_{bahankiri}$	Kecepatan partikel bunyi di dalam bahan yang menuju ke kiri(m/s)
P_{bahan1}	Amplitudo gelombang bunyi dari $P_{bahankanan}$
P_{bahan2}	Amplitudo gelombang bunyi dari $P_{bahankiri}$
$P_{x=0}$	Tekanan bunyi di permukaan kiri bahan (Pascal)
$P_{x=d}$	Tekanan bunyi di permukaan kanan bahan (Pascal)
$V_{x=0}$	Kecepatan partikel bunyi di permukaan kiri bahan (m/s)
$V_{x=d}$	Kecepatan partikel bunyi di permukaan kanan bahan (m/s)
e	Bilangan eksponensial
α	Koefisien Serapan Bunyi
R	Koefisien Pantul Bunyi
TL	Rerugi Transmisi Bahan (dB)
T	Koefisien Trasnmisi Bahan
$\varepsilon(\omega)$	Bagian riil dari bilangan gelombang propagasi bunyi
$\xi(\omega)$	Bagian imajiner dari bilangan gelombang propagasi bunyi
Z_c	Impedans Karakteristik bahan (Pascal sekon/meter)